

Wprowadzenie

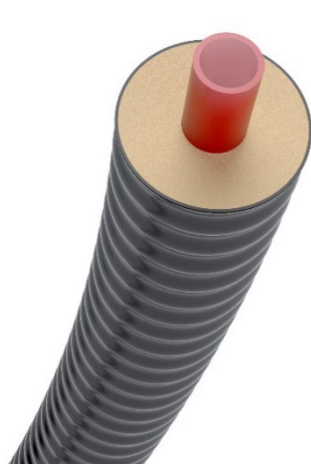
W lokalnych i centralnych sieciach ciepłowniczych stosowanych jest wiele różnorodnych systemów rurowych. Obok klasycznych izolowanych rur stalowych w ostatnich latach na rynku pojawiło się wielu wytwórców izolowanych rur z tworzyw sztucznych. Systemy izolacji i stosowane środki spieniające rozwijały się na przestrzeni wielu lat i proces ten opisaliśmy poniżej. Przedmiotem niniejszej prezentacji jest geneza najnowszej generacji fizycznych środków spieniających – wodorofluoroolefin (HFO), oraz umożliwienie przyporządkowania tej klasy substancji.

1. Podstawowe rodzaje rur izolowanych przeznaczonych dla lokalnych i centralnych sieci ciepłowniczych

Niezbędne do transportu gorącej wody rury izolowane można wstępnie podzielić na sztywne i giętkie systemy rurowe. Obydwa typy mają swoje wady i zalety, a ich zastosowanie w danym przypadku zależy od konkretnych wymagań technicznych.

Sztywne systemy rurowe (rury w okładzinach z tworzywa sztucznego (KMR)) składają się ze stalowych rur przewodowych, izolacji termicznej (materiał izolacyjny) oraz płaszcza zewnętrznego z polietylenu (PE), służącego do ochrony izolacji. Takie systemy rurowe przeznaczone są eksploatowane w wysokich temperaturach i ciśnieniach roboczych jako główne rurociągi w większych centralnych sieciach ciepłowniczych. Są one dostarczane w sztangach, po czym na miejscu rury przewodowe muszą zostać zespawane, a miejsca ich połączeń należy następnie zaizolować złączkami i pianką. Podstawowe wytyczne w tym zakresie zawiera norma EN 253.

Giętkie systemy rurowe składają się zazwyczaj z polimerowych rur przewodowych, izolacji termicznej i płaszcza zewnętrznego z PE (polimerowa rura przewodowa (PMR)). Maksymalne temperatury i ciśnienia robocze są niższe niż w przypadku rur KMR. Ich zaletą jest jednak możliwość układania większych długości w jednym kawałku, ponieważ rury te mogą być zwijane w pierścień podczas produkcji i w takiej formie dostarczane na plac budowy. Często spotykane są kilkusetmetrowe długości. Tym samym wyraźnie obniżają się nakłady na technologie łączenia. Podstawowe wytyczne w tym zakresie zawiera norma EN 15632.



CALPEX PUR-KING

Giętkie systemy rurowe



PREMANT

Sztywne systemy rurowe

Termoplastyczne i termoutwardzalne materiały izolacyjne

Obecnie na rynku dostępne są dwa giętkie systemy rurowe z rurami przewodowymi z tworzyw sztucznych. W jednym funkcję izolacji pełni pianka PE, w drugim materiał chemicznie usieciowany, tzn. termoutwardzalny (PUR/PIR).

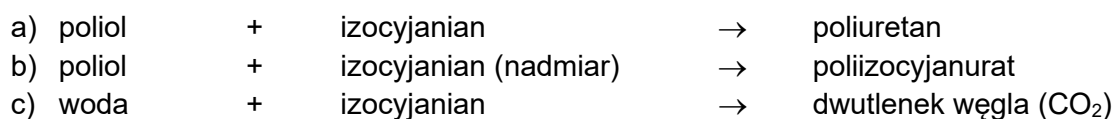
Materiały izolacyjne z PE zazwyczaj są prefabrykowane i nanoszone na rury przewodowe w procesie produkcji rur izolowanych. Stosunkowo grube pory i duże komórki są jedną z właściwości pianek PE. Ponadto gęstość pianek PE jest relatywnie niska, dlatego opór dyfuzyjny materiału izolacyjnego jest niewielki, co oznacza, że gazy komórkowe mogą łatwo równoważyć się z otaczającym powietrzem. To z kolei skutkuje obecnością azotu i tlenu w komórkach. Tym samym nie jest możliwa ukierunkowana modyfikacja składu gazu komórkowego, zmierzająca do zmniejszenia przewodności cieplnej. Dodatkową cechą pianek PE jest to, że samoistnie nie przywierają ani nie przyklejają się one do rur przewodowych. Połączenie dociskowe nie jest stosowane (systemy niezespalone wg EN 15632-3).

Termoutwardzalnymi materiałami izolacyjnymi są zazwyczaj pianki poliuretanowe (PUR) lub poliizocyjanuratowe (PIR). Pianki te są wytwarzane z mieszanki dwuskładnikowej (2K) podczas procesu produkcji rury izolowanej. Nie są to zatem prefabrykowane materiały izolacyjne, lecz powstają one dopiero podczas produkcji, w wyniku reakcji chemicznej. Podczas tworzenia się pianki dobrze pokrywa ona rury przewodowe, co skutkuje jej trwałym przyleganiem i połączeniem dociskowym. Jest to materiał izolacyjny o zamkniętych komórkach, a jego gęstość jest większa niż w przypadku pianek PE. Rodzaj i ilość gazów komórkowych można modyfikować w procesie produkcyjnym. Dyfuzja gazów powietrznych do porów pianki odbywa się bardzo powoli, tzn. izolacja cieplna może zostać znacząco poprawiona składem gazów w komórkach.

Systemy termoutwardzalne PUR i PIR

Cechą wspólną pianek na bazie PUR i PIR jest to, że powstają w wyniku reakcji polioli z izocyjanianami. Są to terminy ogólne, tzn. w praktyce istnieje duża różnorodność polioli i izocyjanianów dostarczanych przez różnych dostawców. Skutkuje to dużą liczbą pianek o różnych właściwościach, zależnych od użytych materiałów wyjściowych oraz ich proporcji.

W dalszych objaśnieniach pomocne będą poniższe równania reakcji:



W zależności od użytej ilości komponentów izocyjanianowych dochodzi do wielokrotnego tworzenia się PUR lub PIR. W przypadku systemów PIR konieczna jest relatywnie większa ilość izocyjanianu (oprócz innych działań w prowadzeniu reakcji). Zaletą systemów PIR jest ich wysoka odporność na temperaturę i niska palność. Ich wytwarzanie w procesie ciągłym wiąże się jednak z dużymi niedogodnościami.

Sposób działania chemicznego środka spieniającego

W stosowanych polioliach zawsze znajduje się niewielka ilość wody, co powoduje, że podczas tworzenia się pianki PUR lub PIR zawsze powstaje CO₂ (patrz równanie reakcji powyżej). Podczas reakcji chemicznej jednocześnie tworzy się sieć cząsteczkowa poliuretanu lub poliizocyjanuratu, a im bardziej reakcja ta postępuje, tym twardsza staje się pianka. Powstały

dwutlenek węgla (CO₂) w naturalny sposób dąży do ulotnienia się i w ten sposób niezastygła masa pęcznieje. Tak powstaje pianka.

Przy tego rodzaju spienianiu powodowanym przez powstały podczas reakcji CO₂ mowa jest również o chemicznym środku spieniającym. Często mówi się o systemach wodozależnych, ponieważ obecność wody w poliolu jest podstawowym warunkiem powstania CO₂.

Sposób działania fizycznego środka spieniającego

Możliwa jest dalsza intensyfikacja procesu spieniania za pomocą tzw. fizycznych środków spieniających, przy jednoczesnej poprawie ostatecznych właściwości pianki. Fizyczny środek spieniający w temperaturze pokojowej zwykle ma postać ciekłą i mieszany jest z komponentami pianotwórczymi. Podczas reakcji chemicznej uwalnia się ciepło, co powoduje parowanie niskowrzącego fizycznego środka spieniającego i jego przejście w stan gazowy. Wskutek tego jeszcze nie w pełni utwardzona masa reagująca ulega spęcznieniu, tworząc piankę.

Efektem procesu produkcyjnego jest gotowa pianka. Składa się ona z wielu małych porów, zwanych również komórkami. Matryca polimerowa tworzy tu swoiste rusztowanie. W komórkach znajdują się tzw. gazy komórkowe. Są to po pierwsze dodane fizyczne środki spieniające, teraz uwięzione w komórkach. Po drugie, jest to również CO₂, którego pewna ilość zawsze powstaje, oraz – w niewielkim stopniu – gazy stanowiące główny składnik otaczającego powietrza, czyli azot i tlen.

Rodzaje fizycznych środków spieniających

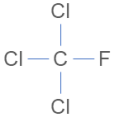
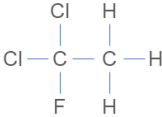
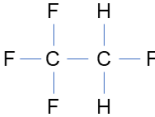
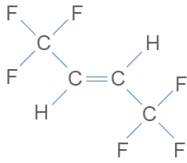
Fizycznymi środkami spieniającymi do pianek izolacyjnych są głównie węgle (węglowodory) halogenowane lub proste węglowodory o niskiej masie cząsteczkowej.

Węgle (węglowodory) halogenowane

Po wynalezieniu CFC-11 przez Amerykanina Thomasa Midgleya, w latach trzydziestych XX wieku jako czynnik chłodniczy w lodówkach po raz pierwszy zastosowano węgle (węglowodory) halogenowane ^[1]. Ich ciekawe właściwości szybko sprawiły, że CFC stały się nieodzowne w wielu zastosowaniach technicznych. Od lat 60. XX wieku CFC-11 wykorzystuje się również do produkcji pianek poliuretanowych ^[2].

Typowym przedstawicielem tej klasy substancji jest związek CFC-11 wyszczególniony w tabeli 1, znany również jako freon-11. Chlorofluorowęgle charakteryzują się tym, że składają się wyłącznie z chloru (Cl), fluoru (F) i węgla (C) i występują w nich tylko wiązania pojedyncze. Dlatego też skrót ich nazwy brzmi CFC (węgiel języku angielskim to „carbon”, stąd „C” zamiast „K”). Cząsteczki CFC nie zawierają wodoru. Stąd też niemieckie określenie FCKW (fluor chlor węgiel wodór) jest błędne, ale mimo to na dobre zadomowiło się w języku codziennym.

Publikacją w 1974 roku zapoczątkowano naukową debatę na temat zagrożeń dla stratosferycznej warstwy ozonowej powodowanych przez powszechnie stosowane do tej pory CFC ^[5]. Doprowadziło to do ponownej oceny tej klasy substancji. W Porozumieniu Montrealskim podpisanym w 1987 roku zawarto zobowiązanie do stopniowego wycofywania się z ich stosowania ^[6]. Efektem było opracowanie i skomercjalizowanie wielu produktów alternatywnych.

Substanz- klasse	CFC Chlor Fluor Kohlenstoff	HCFC Hydro Chlor Fluor Kohlenstoff	HFC Hydro Fluor Kohlenstoff	HFO Hydro Fluor Olefin
Typischer Vertreter	CFC-11	HCFC-141b	HFC-245fa	HFO-1336mzz
Struktur- Formel				
ODP	1 ^[3]	0.11 ^[3]	0 ^[3]	2 ^[4]
GWP	3800 ^[3]	600 ^[3]	1430 ^[3]	8.9 ^[4]
Lebensdauer an der Atmosphäre	45 Jahre ^[9]	9.2 Jahre ^[15]	7.4 Jahre ^[8]	22 Tage ^[4]

Substanzklasse	Klasa substancji
Typischer Vertreter	Typowy przedstawiciel
Strukturformel	Wzór strukturalny
ODP	ODP
GWP	GWP
Lebensdauer an der Atmosphäre	Trwałość w atmosferze
CFC Chlor Fluor Kohlenstoff	CFC chlor fluor węgiel
HCFC Hydro Chlor Fluor Kohlenstoff	HCFC wodór chlor fluor węgiel
HFC Hydro Fluor Kohlenstoff	HFC wodór fluor węgiel
HFO Hydro Fluor Olefin	HFO wodór fluor olefina
45 Jahre	45 lat
9.2 Jahre	9,2 lat
7.4 Jahre	7,4 lat
22 Tage	22 dni

Tabela 1: Typowi przedstawiciele węgla (węglowodorów) halogenowanych, które były stosowane jako środki spieniające.

Zdolność substancji do niszczenia warstwy ozonowej pod wpływem promieniowania UV nazywana jest potencjałem niszczenia warstwy ozonowej (Ozone Depletion Potential – ODP). Jest to wielkość względna, przy czym dla CFC-11 założono ODP na poziomie 1. Pierwotnym

celem rozwoju technicznego było znalezienie środków spieniających o ODP znacznie niższym od ODP założonego dla CFC.

Opracowane wodorofluorowęglowodory (HCFC) stanowiły pierwszy istotny postęp w obszarze ODP i wykazywały wartości znacznie poniżej 1. Przykładowo, dla pokazanego HCFC-141b podano wartość 0,11^[3]. HCFC składają się z wodoru (w języku angielskim „hydrogen”, stąd „H”), chloru, fluoru i węgla i mają tylko pojedyncze wiązania.

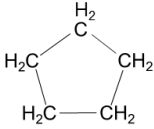
Rozwój kontynuowano w zakresie wodorofluorowęglowodórów (HFC), składających się wyłącznie z wodoru, fluoru i węgla, także mających tylko pojedyncze wiązania. Ich ODP rzeczywiście wynosi zero, co oznacza, że poważny problem środowiskowy związany z tą klasą substancji został trwale rozwiązany.

Opisane dotychczas klasy substancji (CFC, HCFC, HFC) mają jednak jeszcze jedną wspólną wadę, a mianowicie ich oddziaływanie jako gazy cieplarniane. Wartość ta znana jest jako potencjał tworzenia efektu cieplarnianego, zwykle opisywany skrótem GWP (ang. Global Warming Potential)^[7]. Jej punktem odniesienia jest wartość dla CO₂ (GWP = 1), która dla wszystkich węgli (węglowodórów) halogenowanych jest większa o rząd wielkości od wartości dla CO₂. Tak zwany Czas Życia w Atmosferze (Atmospheric Lifetime) jest dobrym wskaźnikiem zdolności substancji do oddziaływania jako gaz cieplarniany. Czas życia substancji w atmosferze oznacza czas potrzebny do jej naturalnego rozkładu. Dla omawianych klas substancji, posiadających tylko pojedyncze wiązania, typowe są okresy liczone w latach lub dekadach.

Wodorofluoroolefiny (HFO) są najnowszym wynalazkiem. Zawierają one w cząsteczce co najmniej jedno wiązanie podwójne, na co wskazuje termin „olefina”. We wzorze strukturalnym wiązanie podwójne jest pokazywane za pomocą podwójnej kreski pomiędzy dwoma środkowymi atomami węgla. Ponadto zawierają one co najmniej wodór, fluor i węgiel. To podwójne wiązanie ma duże znaczenie chemiczne. W tej miejscu rozpoczyna się rozkład cząsteczki w atmosferze, dokonujący się pod wpływem promieniowania UV. Woda i tlen atakują to wiązanie podwójne, skracając żywotność substancji w tych warunkach (promieniowanie UV, wilgoć) do kilku dni. W ten sposób przenikanie do górnych warstw atmosfery staje się niemożliwe, a potencjał HFO w zakresie globalnego ocieplenia jest redukowany do zera.

Proste węglowodory

Bezpośrednią konsekwencją odkryć dotyczących uszkodzeń warstwy ozonowej było zastosowanie od lat 80-tych XX wieku węglowodórów o niskiej masie cząsteczkowej (HC) jako materiałów spieniających^[8]. Zawierają one tylko węgiel i wodór, przez co nie jest w nich obecny halogen. W tamtym czasie zalety techniczne tych substancji w odniesieniu do produkcji pianek były dobrze znane, ale ich wysoka łatwopalność przez długi czas uniemożliwiała ich zastosowanie w tym przemyśle. Szybko zmienił to jednak rozwój odpowiednich urządzeń umożliwiających bezpieczne przetwarzanie polioli i izocyjanianów w obecności HC. Tabela 2 przedstawia możliwe propozycje, a spojrzenie na wartości przewodności cieplnej wyjaśnia, dlaczego cyklopentan przyjął się jako fizyczny środek spieniający dla pianek PUR i PIR. Po dokonaniu inwestycji w technologię instalacji i magazynowanie środka spieniającego, dysponujemy materiałem o niskiej przewodności cieplnej, wiarygodnym ekologicznie oraz opłacalnym.

Substanz	Iso-Butan	Iso-Pentan	N-Pentan	Cyclopentan
Struktur-Formel	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{H}_3\text{C} - \text{C} - \text{CH}_3 \\ \\ \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{H}_3\text{C} - \text{C} - \text{CH}_2 - \text{CH}_3 \\ \\ \text{H} \end{array}$	$\text{H}_3\text{C} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$	
ODP	0 ^[10]	0 ^[10]	0 ^[10]	0 ^[10]
GWP	11 ^[10]	11 ^[10]	11 ^[10]	11 ^[10]
Lebensdauer an der Atmosphäre	Wenige Tage ^[10]	Wenige Tage ^[10]	Wenige Tage ^[10]	Wenige Tage ^[10]
λ - Wert [W/m*K]	0.016 @ 25 °C ^[10]	0.014 @ 25 °C ^[10]	0.015 @ 25 °C ^[10]	0.013 @ 25 °C ^[10]

Substanz	Substancja
Strukturformel	Wzór strukturalny
ODP	ODP
GWP	GWP
Lebensdauer an der Atmosphäre	Trwałość w atmosferze
λ - Wert [W/m*K]	Wartość λ [W/mK]
Iso-Butan	Izobutan
Iso-Pentan	Izopentan
N-Pentan	N-pentan
Cyclopentan	Cyklopentan
Wenige Tage	Kilka dni

Tabela 2: Typowi przedstawiciele węglowodorów prostych, stosowanych jako środki spieniające.

Porównanie fizycznych środków spieniających

Chociaż cyklopentan pozostaje standardem środka spieniającego dla rur w centralnych sieciach ciepłowniczych, tabela 3 pokazuje, że HFO obecnie stanowią najlepszy kompromis pomiędzy dostępnością, przewodnością cieplną, bezpieczeństwem ekologicznym i niezawodnością działania.

Bardzo niska wartość λ CFC-11 pozostaje nieosiągalna, ale wartość ta dla HFO podanej jako przykład jest znacznie niższa niż wartość dla CO₂ czy nawet cyklopentanu.

Kosztowo korzystniejsze byłyby systemy wodozależne, ale wartości izolacyjne osiągalne dzięki nim od lat nie spełniają potrzeb rynku i celów w zakresie oszczędności energii (patrz również porównanie w następnym rozdziale).

Zellgas	λ - Wert	ODP	GWP	Kosten	Sonstiges
	[W/m*K]				
CFC11	0.008 @ 25 °C [13]	1 [3]	3800 [3]	Mittel	Nicht mehr zugelassen
HCFC-141b	0.010 @ 25 °C [12]	0.11 [3]	600 [3]	Mittel	Nicht mehr zugelassen
HFC-245fa	0.013 @ 25 °C [11]	0 [3]	1430 [3]	Mittel	Nicht mehr zugelassen
HFO-1336mzz	0.011 @ 25 °C [4]	0 [4]	2.0 [4]	Hoch	Seit Kurzem kommerziell verfügbar
Kohlendioxid (CO ₂)	0.016 @ 25 °C [9]	0 [9]	1 [9]	0	Hohe Wärmeleitfähigkeit
Cyclopentan	0.013 @ 25 °C [10]	0 [10]	5 [10]	Niedrig	Brennbar
Stickstoff (N ₂)	0.026 @ 20 °C [14]	-	-	-	Aus der Umgebungsluft

Zellgas	Gaz komórkowy
CFC11	CFC11
HCFC-141b	HCFC-141b
HFC-245fa	HFC-245fa
HFO-1336mzz	HFO-1336mzz
Kohlendioxid	Dwutlenek węgla
Cyclopentan	Cyklopentan
Stickstoff	Azot
λ - Wert	Wartość λ
[W/m*K]	[W/mK]
ODP	ODP
GWP	GWP
Kosten	Koszty
Mittel	Średnie
Hoch	Wysokie
Niedrig	Niskie
Sonstiges	Inne
Nicht mehr zugelassen	Dopuszczenie wycofane
Seit Kurzem kommerziell verfügbar	Od niedawna dostępny na rynku
Hohe Wärmeleitfähigkeit	Wysoka przewodność cieplna
Brennbar	Palny
Aus der Umgebungsluft	Z powietrza

Tabela 3: Porównanie omawianych środków spienających i gazów komórkowych oraz ich własności w zakresie przewodnictwa cieplnego.

Wymagania techniczne

Wymagania techniczne dla izolowanych giętkich systemów rurowych określono w normach z rodziny EN 15632. W odniesieniu do właściwości rur przewodowych, płaszcz zewnętrzny i izolacji, istnieją wymierne wymagania minimalne, które muszą zostać spełnione. Jednak dla właściwości materiału izolacyjnego opisano jedynie podstawową metodę obliczeń. Nie określono żadnych wymagań minimalnych. Dlatego poniżej krótko opisana zostanie sama skuteczność izolacji.

Izolacja termiczna

Przewodność cieplna to wielkość fizyczna, ilościowo opisująca izolację cieplną pod kątem jej działania izolacyjnego. Jest ona wyrażana grecką literą λ (wymowa: lambda). Jednostką tej wielkości jest W/mK (wymowa: wat na metr razy kelwin). Im niższa jest wartość λ , tym gorzej dany materiał przewodzi ciepło. Dlatego też w przypadku rur izolowanych wartość ta powinna być jak najniższa.

Łączna przewodność cieplna (λ_{tot}) wynika z sumy wszystkich komponentów:

$$\lambda_{tot} = \lambda_{kon} + \lambda_{solid} + \lambda_{rad} + \lambda_{gas} \text{ / [W/mK]}$$

Objaśnienie skrótów

λ_{kon} : Wpływ konwekcji

λ_{solid} : Przewodność cieplna matrycy, tj. ciała stałego otaczającego pory

λ_{rad} : Promieniowanie cieplne

λ_{gas} : Przewodność cieplna gazów komórkowych

Udział konwekcji (λ_{kon}) w przypadku tworzyw piankowych można pominąć ze względu na małe pory.

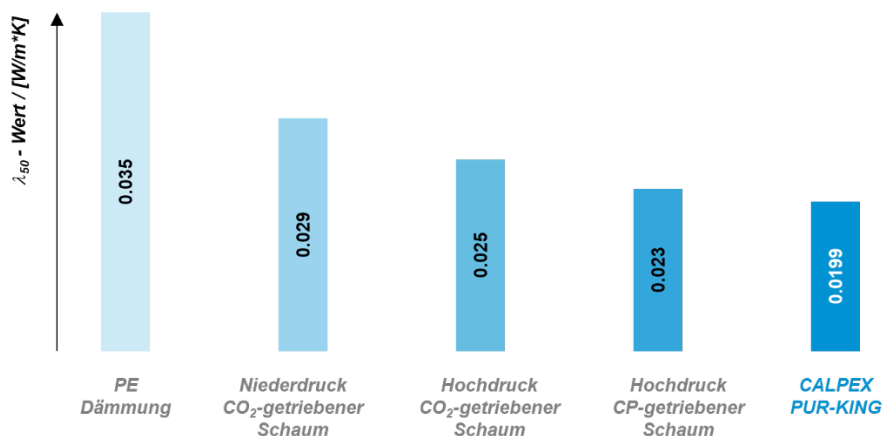
Wpływ matrycy stałej (λ_{solid}) można dla danego materiału zmniejszyć przez redukcję gęstości pianki. Działanie to można jednak stosować tylko w ograniczonym stopniu, ponieważ ze względu na ogólną stabilność rury gęstości nie można redukować w sposób dowolny.

Wpływ promieniowania cieplnego (λ_{rad}) można modyfikować tylko w pewnym stopniu i tylko w przypadku wysokich temperatur.

W praktyce przewodność cieplna gazów komórkowych (λ_{gas}), a tym samym zastosowane materiały spieniające stanowią najbardziej efektywny czynnik redukcji λ_{tot} . Wartości przewodności cieplnej poszczególnych gazów komórkowych wykazują znaczne różnice. W przeszłości stanowiło to przyczynę stosowania HCFC i HFC jako fizycznych środków spieniających w piankach PUR i PIR do momentu, gdy ich stosowanie zostało prawnie ograniczone lub zabronione.

Wartości U rur izolowanych

Wyznaczanie wartości U lub λ odbywa się zazwyczaj na rurze o średnicy nominalnej DN 50, ponieważ sprzęt pomiarowy jest do niej przystosowany, a same pomiary są stosunkowo kosztowne. Uwzględniając parametry geometryczne rury, można obliczyć przewodność cieplną materiału izolacyjnego. Następnie wartość przewodności cieplnej jest wykorzystywana do obliczania wartości U również innych średnic rur. Założeniem jest tu oczywiście ich przynależność do tej samej serii wyrobów, tzn. materiał izolacyjny musi być identyczny.



λ_{50} - Wert / [W/m*K]	Wartość λ_{50} / [W/mK]
PE Dämmung	Izolacja PE
Niederdruck CO ₂ -getriebener Schaum	Niskie ciśnienie Pianka generowana za pomocą CO ₂
Hochdruck CO ₂ -getriebener Schaum	Wysokie ciśnienie Pianka generowana za pomocą CO ₂
Hochdruck CP-getriebener Schaum	Wysokie ciśnienie Pianka generowana za pomocą CP
CALPEX PUR-KING	CALPEX PUR-KING

Ilustracja 2: Porównanie przewodności cieplnej różnych materiałów izolacyjnych.

Ponieważ wartości U i wartości λ są zależne od temperatury, bezwzględnie konieczne jest wyspecyfikowanie wraz z nimi temperatury pomiaru. W przemyśle budowlanym zazwyczaj mowa jest o temperaturze 10°C, a w centralnych sieciach ciepłowniczych o 50°C. Zgodnie z przybliżoną zasadą wzrost temperatury pomiaru o 10°C powoduje wzrost wartości λ o około 0,001 W/mK.

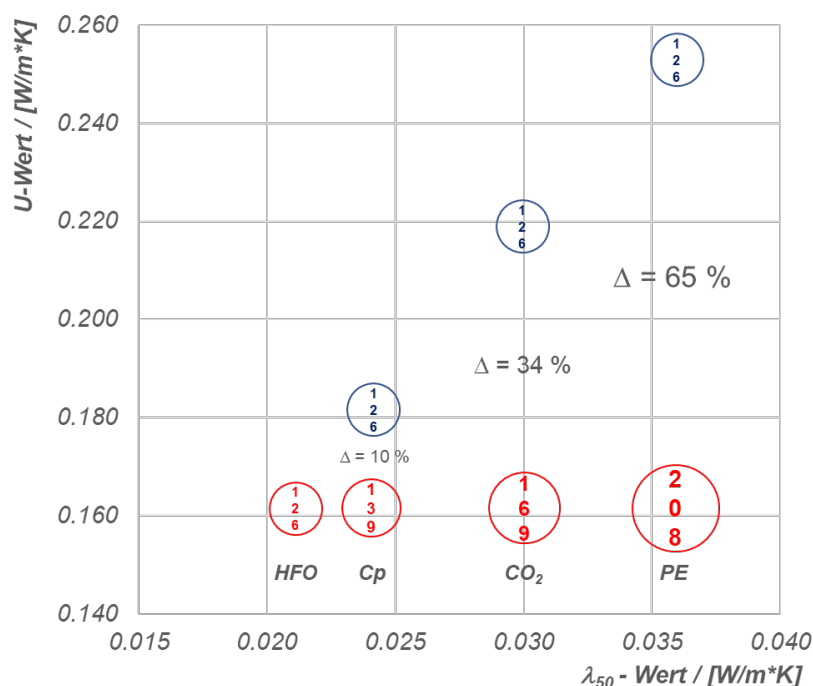
Wyjaśnia to następujący przykład:

- Gładkościenna rura izolowana ułożona centralnie z rurą przewodową
- Średnica zewnętrzna rury przewodowej = 63 mm
- Grubość ścianki rury przewodowej = 5,8 mm
- Grubość ścianki płaszczu PE = 2,5 mm
- Przewodność rury przewodowej = 0,38 W/mK w 50°C
- Przewodność płaszczu PE = 0,33 W/mK w 50°C
- Przewodność izolacji PE = 0,035 W/mK w 50°C
- Przewodność pianki PUR generowanej CO₂ (niskie ciśnienie) = 0,029 W/mK w 50°C

- i) Przewodność pianki PUR generowanej CO₂ (wysokie ciśnienie) = 0,029 W/mK w 50°C
- j) Przewodność pianki PUR generowanej cyklopentanem (Cp) = 0,023 W/mK w 50°C
- k) Przewodność pianki PUR generowanej HFO (PUR-KING) = 0,0199 W/mK w 50°C

Przewodność cieplną pianki PUR generowanej za pomocą HFO obliczono jako średnią wartość dziesięciu pojedynczych pomiarów dokonanych przez akredytowaną jednostkę.

Na rysunku 1 przedstawiono wartości U obliczone na podstawie tych informacji. Kolorem niebieskim zaznaczono wartości U dla średnicy zewnętrznej 126 mm z odpowiednim materiałem izolacyjnym. Teraz przy użyciu dowolnego materiału izolacyjnego możliwe jest osiągnięcie wartości współczynnika U jak dla rury wzorcowej w izolacji z pianki HFO-PUR. Będzie to jednak możliwe jedynie poprzez znaczne zwiększenie średnicy zewnętrznej, tj. grubości warstwy izolacyjnej. Na przykład średnica rury izolowanej PE musiałaby zostać zwiększona do 208 mm, tj. o 65%.



U-Wert / [W/m ² *K]	Wartość U / [W/m ² *K]
HFO	HFO
Cp	Cp
PE	PE
λ_{50} - Wert / [W/m ² *K]	Wartość λ_{50} / [W/m ² *K]

Ilustracja 1: Wartości współczynnika U dla rur z izolacją z różnych materiałów i wymagane średnice zewnętrzne konieczne do uzyskania tej samej wartości współczynnika U jak w przypadku rury wzorcowej w izolacji HFO.

Jedną z konsekwencji tego działania jest zwiększenie ilość materiału potrzebnego do produkcji rur. Materiałem izolacyjnym musi zostać wypełniona większa objętość, a na płaszcz zewnętrzny musi zostać użyta większa ilość PE.

Kolejnym niekorzystnym efektem zwiększenia średnicy zewnętrznej są krótsze długości pierścienia. Co prawda długości rur mogą być generalnie docięte na wymiar wymagany przez klienta, ale ze wzrostem średnicy zewnętrznej zwiększeniu ulega też wykonały promień. Wynikające z tego zewnętrzne średnice zwojów są czynnikiem ograniczającym, ponieważ standardowy transport samochodem ciężarowym jest możliwy tylko do średnicy xx m.

Dzięki zastosowaniu poliuretanu jako najbardziej kompaktowej technologii izolacyjnej w centralnych sieciach ciepłowniczych możliwa jest realizacja dostaw największych długości, co znacznie obniża koszty transportu (tabela 4).

Wymiar \emptyset	Długość pierścienia *	Promień gięcia	Masa
[mm]	[m]	[m]	[kg]
76	1000	0,45	900
91	715	0,55	858
111	450	0,60	630
126	291	0,65	698
142	260	0,70	806
162	149	0,90	671
182	86	1,10	620
202	80	1,40	672

Tabela 4: Wykonalne długości pierścieni i promień gięcia dla giętkich rur z tworzyw sztucznych w zależności od średnicy zewnętrznej rury. * dla zewnętrznej średnicy pierścienia 2,8 m.

Wodoszczelność wzdłużna

W giętkich izolowanych systemach rurowych z rurą przewodową z tworzywa sztucznego norma EN15632-1 rozróżnia rury zespolone i niezespolone.

W przypadku rur zespolonych, materiał izolacyjny tworzy połączenie dociskowe z rurą przewodową i płaszczem zewnętrznym. Ponieważ materiał izolacyjny powstaje z mieszanki dwuskładnikowej podczas produkcji rur izolowanych, przywiera on do rur przewodowych. Połączenie z płaszczem zewnętrznym jest uzyskiwane poprzez stopienie z płaszczem zewnętrznym folii, na której transportowana jest mieszanka dwuskładnikowa, zaraz po jego wytłoczeniu. Takie rury izolowane są zazwyczaj wodoszczelne wzdłużnie zgodnie z normą EN15632-2, rozdział 6.4. Samo połączenie dociskowe jest również wykazywane przez obecność minimalnej wartości osiowej wytrzymałości na ścinanie.

W przypadku rur niezespolonych izolacja jest w pewnym stopniu jedynie nawinięta na rury wewnętrzne. Nie istnieje połączenie dociskowe. W związku z tym nie jest możliwe spełnienie wymogów w zakresie wodoszczelności wzdłużnej i nie jest wymagana osiowa wytrzymałość na ścinanie. Aby zapobiec rozprzestrzenianiu się w systemie rurowym wilgoci przedostającej się do jego wnętrza, w obszarze złączy należy przewidzieć specjalne elementy, które zapobiegą jej wnikaniu najpóźniej na tym etapie.

Kolejną wadą rur niezespolonych jest fakt, że rury przewodowe mają pewną swobodę ruchu, a więc mogą wypaść.

Podsumowanie

Pod względem parametrów technicznych materiały izolacyjne na bazie pianek poliuretanowych są obecnie najlepszym rozwiązaniem dla lokalnych i centralnych sieci ciepłowniczych. Niskie wartości przewodności cieplnej osiągnęte są dzięki zastosowaniu najnowszych technologii. Skutkuje to niskimi wartościami współczynnika U przy małych średnicach zewnętrznych. Mniejsze średnice zewnętrzne wymagają mniejszej ilości miejsca. Po pierwsze ułatwia to układanie rur w wykopach. Po drugie nawijane pierścienie są dłuższe, przez co na jednostkę transportową można przewozić większą ilość rury i obniżyć tym samym koszty logistyczne.

Ponadto proces produkcyjny z reaktywnym systemem dwuskładnikowym gwarantuje, że pianka tworzy trwałe połączenie z rurami wewnętrznymi. Stosowanie środków spieniających z klasy substancji HFO jest obecnie rozwiązaniem najnowocześniejszym. Pozwala to na dalszą redukcję wartości U przy zachowaniu średnicy zewnętrznej.

Literatura

- [1] Patent GB357263A.
- [2] Randall, D and Lee, S., *The Huntsman polyurethanes handbook*, John Wiley & Sons, 2002, ISBN 0-470-85041-8, s. 127.
- [3] Baza danych niemieckiego obowiązkowego ubezpieczenia od następstw nieszczęśliwych wypadków, dostępna pod www.gestis.itrust.de
- [4] Arkusz danych technicznych firmy Chemours, dostępny pod: https://www.chemours.com/Formacel/en_US/assets/downloads/opteon-1100-product-information.pdf
- [5] Molina, M. J., Rowland, F. S., *Nature*, 1974 (249), 810.
- [6] Protokół montrealcki w tłumaczeniu na język niemiecki, dostępny pod: <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19870179/201901010000/0.814.021.pdf>
- [7] https://pl.wikipedia.org/wiki/Potencjał_tworzenia_efektu_cieplarnianego
- [8] Randall, D and Lee, S., *The Huntsman polyurethanes handbook*, John Wiley & Sons, 2002, ISBN 0-470-85041-8, s. 133.
- [9] Randall, D and Lee, S., *The Huntsman polyurethanes handbook*, John Wiley & Sons, 2002, ISBN 0-470-85041-8, s. 131.
- [10] Randall, D and Lee, S., *The Huntsman polyurethanes handbook*, John Wiley & Sons, 2002, ISBN 0-470-85041-8, s. 134.
- [11] Wang et. al., *J. Chem. Eng. Data*, 2006 (51), 1424.
- [12] Klempner, D. and Sendijarevic, V., *Handbook of Polymeric Foams and Foam Technology*, Hanser, 2004, s. 545.
- [13] Perkins, R. et. al., *J. Chem. Eng. Data*, 2001 (46), 428.
- [14] Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.), *VDI-Wärmeatlas, Berechnungsblätter für den Wärmeübergang*, ISBN 3-18-401362-6, VDI Verlag, 7. wydanie, Düsseldorf 1994, ISBN 3-18-401362-6, S. Db29.
- [15] Randall, D and Lee, S., *The Huntsman polyurethanes handbook*, John Wiley & Sons, 2002, ISBN 0-470-85041-8, s. 132.